(9)

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-168262
(43)Date of publication of application : 14.06.1994

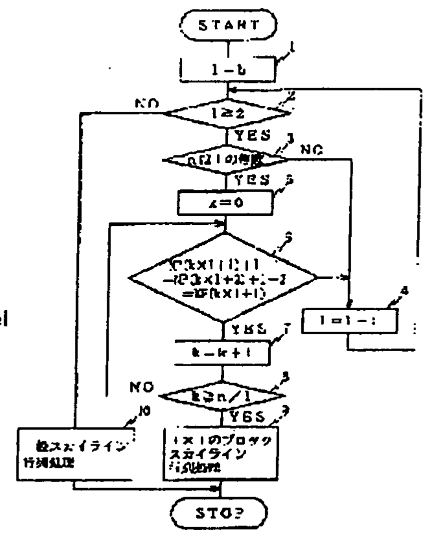
(51)Int.Cl. G06F 15/324

(21)Application number : 04-319756
(22)Date of filing : 30.11.1992

(71)Applicant : HITACHI LTD
(72)Inventor : USHIRO YASUNORI

(54) CALCULATING DEVICE FOR SIMULTANEOUS LINEAR EQUATIONS

(57)Abstract:
PURPOSE: To provide the device effective for analyzing simultaneous linear equations of large scale on a parallel vector computer, especially, effective for the triangulation of a skyline matrix obtained by structural analysis using the finite element method.
CONSTITUTION: This calculating device for simultaneous linear equations calculates the solution of the simultaneous linear equations with the skyline matrix provided by the structural analysis using the finite element method provided by the structural stores the coefficient matrix A given by one-dimensional arrangement the leading address table NP of the respective columns and the right side vector B of A, and performs processing separately for the case where the heads of skylines are equal for (1) pieces (1=2, 3, ..., 6) and the other case corresponding to the value of the NP. Therefore, the parallel vector computer enables high-speed calculation 7-20 times as fast compared to the conventional system.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]
[Date of sending the examiner's decision of rejection]
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
[Date of final disposal for application]
[Patent number]
[Date of registration]
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁（ＪＰ）　(12)公開特許公報（Ａ）　(11)特許出願公開番号

特開平６－１６８２６２

(43)公開日　平成６年（１９９４）６月１４日

(51)Int.Cl.[5]　識別記号　庁内整理番号　ＦＩ　技術表示箇所

G06F 15/324　7343-5L

審査請求　未請求　請求項の数１　（全５頁）

(21)出願番号　特願平４－３１９７５６

(22)出願日　平成４年（１９９２）１１月３０日

(71)出願人　０００００５１０８
株式会社日立製作所
東京都千代田区神田駿河台四丁目６番地

(72)発明者　後　保範
神奈川県横浜市戸塚区戸塚町５０３０番地
株式会社日立製作所ソフトウェア開発本部内

(74)代理人　弁理士　小川　勝男

(54)【発明の名称】連立一次方程式に関する計算装置

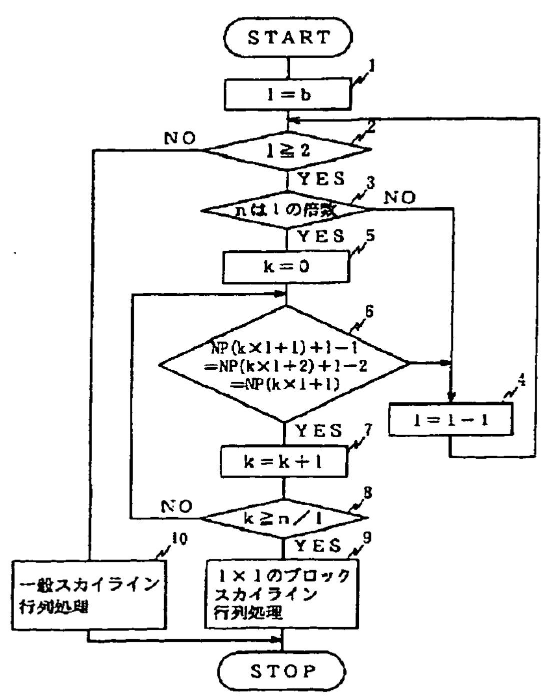
(57)【要約】

【目的】本発明は、並列ベクトル計算機上で、大規模な連立一次方程式の解析をするのに有効な、特に有限要素法を使用した構造解析で得られるスカイライン行列の三角分解に有効な装置を提供することにある。

【構成】有限要素法を使用した構造解析で得られるスカイライン行列を係数とする連立一次方程式の解を計算する装置であり、一次元配列で与えられる係数行列Ａ，Ａの各列の先頭アドレステーブルＮＰ及び右辺ベクトルＢを記憶し、ＮＰの値により、スカイラインの先端がｌ個（ｌ＝２，３，…，６）ずつ揃ったケースとそれ以外のケースに分けて処理する連立一次方程式に関する計算装置。

【効果】並列ベクトル計算機で、従来方式に比較し７～２０倍の高速計算を可能にする。

図１



1

【特許請求の範囲】

【請求項１】有限要素法を使用した構造解析で得られるスカイライン行列を係数とする連立一次方程式の解を計算する装置であり、一次元配列で与えられる係数行列A，Aの各列の先頭アドレステーブルＮＰ及び右辺ベクトルBを記憶し、ＮＰの値により、スカイラインの先頭がl個（l＝2，3，…，6）ずつ揃ったケースとそれ以外のケースに分けて処理することを特徴とする連立一次方程式に関する計算装置。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【産業上の利用分野】本発明は、連立一次方程式の数値解を計算する装置に係わり、特に有限要素法を使用した構造解析で得られるスカイライン行列を係数とする行列の三角分解をする装置であり、大規模な数値シミュレーションを行うベクトル計算機、並列処理方式の計算機などに関する。

【０００２】

【従来の技術】従来の技術としては、小国　力編著「行列計算ソフトウェア、－ＷＳ、スーパーコン、並列計算機」（丸善）論じられているスカイライン行列の改訂コレスキー分解を用いた方法がある。この方式は一行一列の内積計算処理を基本としている。

【０００３】

【発明が解決しようとする課題】前記、一行一列の内積計算を使用した改訂コレスキー分割では、並列ベクトル計算機に適用する場合に下記３つの問題点がある。

【０００４】(1)内積演算はその結果を次に使用するため、ベクトル演算とスカラ演算が並列実行できない。

【０００５】(2)この方式の内積演算では、一つ前に計算した結果を次の内積計算に使用するため、内積計算の並列実行は困難。

【０００６】(3)一行一列の内積計算のため、乗算と加算を一回行うのに、２回のベクトル・ロードが必要であり、乗加算とベクトル・ロードが同一回数できるベクトル計算機では、乗加算器が半分使用されない。

【０００７】上記(1)及び(2)を解決する方法として、ガウス消去法を採用した。ガウス消去法では、ベクトル演算とスカラ演算の並列実行及び各列の消去計算の並列実行が可能である。上記(3)を解決する方法として、ブロック・スカイライン行列か、一般スカイライン行列かの判定処理を追加し、ブロック・スカイライン行列の場合はl行l列のガウス消去法を、一般スカイライン行列の場合は１行１列のガウス消去法を適用し、ベクトル演算回数に対して、ベクトル・ロード及びストアの回数の減少をさせる。

【０００８】

【課題を解決するための手段】有限要素法を使用した構造解析で得られるスカイライン行列を係数とする行列の三角分解を、並列・ベクトル計算機で効率的に行う目的のため下記のような技術的手段を採用した。

2

【０００９】まず、スカイライン行列の形を次の二つに分類し、その形に合った処理方式を採用した。分類はスカイライン行列の先端がl個（l＝2，3，…，6）ずつ揃ったケースとそれ以外のケースとにした。前者のケースをブロック・スカイライン行列、後者のケースを一般スカイライン行列と名付ける。一次元配列で与えられる係数行列Aの各列の先頭アドレステーブルをＮＰとし、次元数をｎとするとき、$l \times l$のブロック・スカイライン行列とは次の条件が成立する場合で、他の場合は一般スカイライン行列と判定する。ブロック・スカイライン行列の条件は次元数ｎがlで割り切れ、$NP(k\times l+1)+l-1=NP(k\times l+2)+l-2=\cdots=NP(k\times l+l)$なる等式が$k=0, 1, \cdots, n/l-1$のすべてで成立することである。各列の演算の並列実行、ベクトル演算とスカラ演算の並列実行及びベクトル・ロードとストアを演算回数に比較して減少させるために上記で分類した各ケースごとに次のような技術的手段を採用する。

【００１０】$l \times l$ブロック・スカイライン行列の場合は、行列Aの各行の先頭アドレステーブルＮＰからl行単位にガウス消去する範囲テーブルＫＬを作成し、このＫＬテーブルに従って、l行l列単位にガウス消去法を適用して三角分解を行う。

【００１１】一般スカイライン行列の場合は、行列Aの各行の先頭アドレステーブルＮＰから一行単位にガウス消去する範囲テーブルＫＬを作成し、次にl行（3，4，5，6）単位にガウス消去法を適用したとき、無駄計算となる要素数Ｐを算出し、P/lが最小となる行数lを求め、このＫＬテーブルに従ってl行１列単位にガウス消去法を適用して三角分解を行う。

【００１２】

【作用】スカイライン行列を自動的に二つに分類するのは、ブロック・スカイライン行列は特に、並列ベクトル計算機で効率良く三角分解できるためであり、一般スカイライン行列はその特性に合わせて、並列ベクトル計算機で効率良く三角分解できるためである。

【００１３】$l \times l$のブロック・スカイライン行列において、行列Aの各行の先頭アドレステーブルＮＰからl行単位にガウス消去する範囲テーブルを作成するのは、これにより毎回ガウス消去する範囲の検索を不要とし効率を上げるためである。l行l列単位にガウスの消去法を適用するのは、並列ベクトル計算機において下記３つの効果がある。

【００１４】(1)l列単位のガウス消去が並列演算可能となる。

【００１５】(2)ベクトル演算とスカラ演算が並列に実行される。

【００１６】(3)乗加算演算に比較して、ベクトル・ロード及びストアの回数を減少できる。（この効果は一般スカイラインより大きい）

一般スカイライン行列において、行列Ａの各行の先頭アドレステーブルＮＰから一行単位にガウス消去する範囲テーブルを作成するのは、これにより毎回ガウス消去する範囲の検索を不要とし効率を上げるためである。次にｌ行（３，４，５，６）単位にガウス消去法を適用したとき無駄計算となる要素数Ｐを算出し、P／lが最小となるｌを求めるのは、下記に示す(3)の効果（ｌが大きいほど大）と、無駄計算の数バランスを考慮して、効率をできるだけ良くするためである。ｌ行単位にガウスの消去法を適用するのは、並列ベクトル計算機において下記３つの効果がある。

【００１７】(1)１列単位のガウス消去が並列演算可能となる。

【００１８】(2)ベクトル演算とスカラ演算が並列に実行される。

【００１９】(3)乗加算演算に比較して、ベクトル・ロード及びストアの回数を減少できる。（この効果はｌの値が大きいほど大である。）

【００２０】

【実施例】以下、本発明について図面を参照して説明する。

【００２１】図１は本発明の基本と処理フローチャート、図２はｌ×ｌのブロック・スカイライン行列の処理フローチャート、図３は一般スカイライン行列の処理フローチャート、図４は３×３のブロック・スカイライン行列の構成図、図５はｌ×ｌのブロック・スカイライン行列で範囲テーブルＫＬを求める処理フローチャート、図６は一般スカイライン行列で無駄計算となる要素数Ｐの算出例である。

【００２２】図１の１は、構造解析の一節点の最大自由度数６をｌにセットし、２はブロック・スカイライン行列の検索か一般スカイライン行列かを判定するブロックであり、３はｌ×ｌブロック・スカイラインの可能性があるかどうかを判定するブロックであり、可能性がない場合は４でｌの値を１減少して２の判定処理にもどる。５，７，８はｋ＝０，１…，n／l−1まで６のブロック・スカイライン行列の判定処理をくり返すループである。６はｌ×ｌのブロック・スカイライン行列の判定部で、上記くり返し中一回でも条件が成立しないと可能性なしてして４に行く。上記くり返し中で６の条件が毎回成立した場合は９のｌ×ｌのブロック・スカイライン行列処理を実行する。２の判定ブロックで条件が成立しないと１０の一般スカイライン行列の処理を実行する。

【００２３】図２の１１はｌ行単位のガウス消去範囲テーブルＫＬの作成で、この詳細は図５で示す。このときセットされたＫＬの値を１６に示す。１２はｌ行単位の処理ループを示す。１３はｌ行ｌ列のガウス消去の準備で、１７で示すような消去必要ブロックは１を、不要ブロックは０をＩＷにセットする。次に１８で示すワークＷに行列Ａのｌ行の値をセットする。１８はｌ＝３とした例である。次にＷの一行目で２，…，ｌ行を消去、二行目で３，…，ｌ行を消去と続けてＷの消去をする。このとき対角に対応するＷの値の逆数を対角行列０にｌ個セットする。次で、１８のＷの値にマイナス符号をつけて１９のＴに移す。そしてＷのｌ行に作成したＤの値を乗算する。続いてＷのｌ行の値を対応する行列Ａに移す。１４は主消去でｌ行のＴとｌ行のＷを乗算し、対応する行列Ａの値に加えるこのときｌ列単位の処理をする。このときＩＷの値が０になる位置の処理はスキップする。本処理２０の範囲に対して行う。（３行３列の例）１５は残消去で２１の範囲に対して、主消去と同様の処理をする。またここで、１６のＫＬは１２の２回目の処理では、ガウス消去する範囲が１８列目までであることを示している。

【００２４】図３の２２はｌ行単位のガウス消去範囲テーブルＫＬの作成をする。２３は同時処理する行数ｌの決定で、図６に示すＰの値で算出し、ｎ１はｎより小さい最大のｌの倍数とする。２４はｌ行単位の処理ループを示す。２５はｌ行１列のガウス消去の準備で、図２の１３と同様な処理をする。２６は主消去でｌ行のＴとｌ行のＷを乗算し、対応するＡの値に加える。このとき１列単位に処理をするのが図２の１４と異なる。２７は最後に残ったｌ－１行以下の処理ループを示す。２８はこの部分の処理は少ないため、一般に用いられている１行１列のガウス消去を適用する。

【００２５】図４の２９は３行３列ブロック・スカイライン行列の一例である。３０はｋ列の対角の位置がＮＰ(k)であることを示す。Ａ(ＮＰ(k))がｋ列の対角値を示す。３１はｋ列のスカイラインの先端の位置がＮＰ(k+1)－１であることを示す。３２は行列Ａの各列の先頭アドレステーブルＮＰの例である。ＮＰの配列は次元数ｎより１大きい。

【００２６】図５の３３はｌ×ｌのブロック・スカイライン行列のＫＬテーブルの作成の準備である。３４は次元数ｎから１まで－１ずつ逆に探索するためのループである。３５はｉ行におけるＫＬテーブルの開始位置の計算である。３６，３７，３８，３９でＫＬテーブルをセットする。

【００２７】図６の４０は一般スカイライン行列にの一列である。４１は３行単位に処理する場合に発生する無駄計算となる要素を示したものである。４２は本例（ｌ＝３）で無駄計算の要素数Ｐが１５となり、P／lが５となることを示す。４３は４行単位に処理する場合に発生する無駄計算となる要素を示したものである。４４はこのとき無駄計算の要素数Ｐは２１となり、P／lが5.25となることを示す。一般スカイライン行列において、ｌ行単位（ｌ＝３，４，５，６）とするｌの値の決定はP／lの値が最も小さいｌを選定する。

【００２８】

【発明の効果】ＨＩＴＡＣ　Ｓ－3800／180のようなベ

クトル計算機では、従来の計算方式に比較して、ブロック・スカイライン行列の場合の本発明の効果はＣＰＵ時間が1/4～1／7に短縮し、一般スカイライン行列の場合は1／3～1／5に短縮するという性能上の効果がある。

【００２９】ＨＩＴＡＣ　Ｓ－3800／480のように並列ベクトル計算機では、従来の計算方式に比較して、ブロック・スカイライン行列の場合の本発明の効果はＣＰＵ時間が1／10～1／20に短縮し、一般スカイライン行列の場合は1／7～1／15に短縮するという性能上の効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図１】処理フローチャートで、ブロック・スカイライン行列か、一般スカイライン行列の判定方式を示す図である。

【図２】処理フローチャートで、ブロック・スカイライン行列の三角分解方式を示す図である。

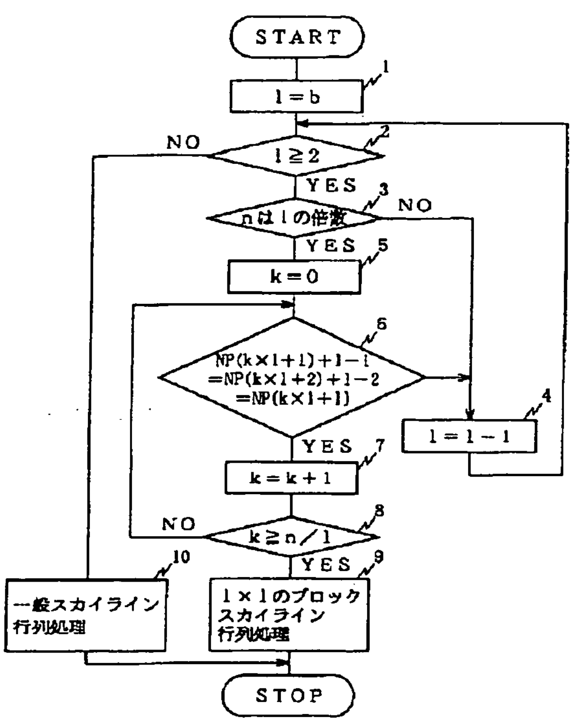
【図３】処理フローチャートで、一般スカイイライン行列の三角分解方式を示す図である。

【図４】ブロック・スカイライン行列の構成で、行列Ａの先頭アドレステーブルＮＰの例を示す図である。

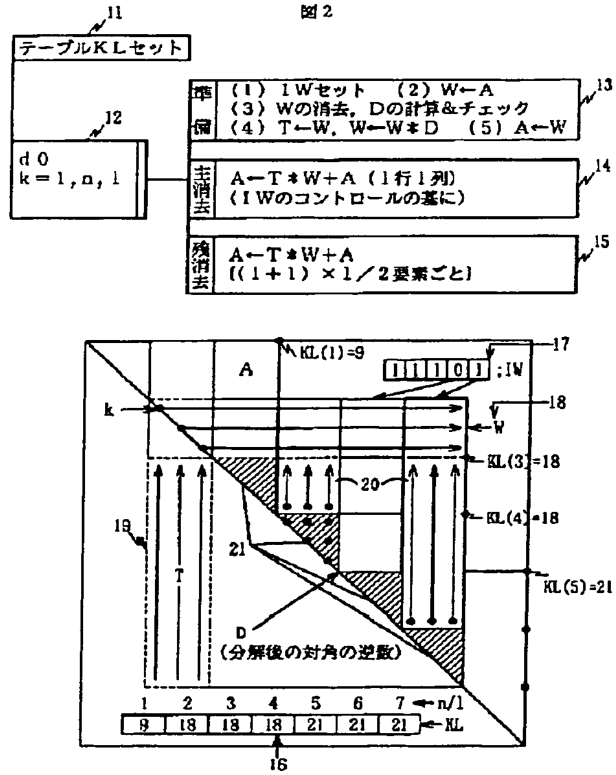
【図５】処理フローチャートで、ブロック・スカイライン行列のＫＬテーブルの作成方式を示す図である。

【図６】一般スカイライン行列の構成で、無駄計算となる要素数Ｐの算出例を示す図である。

【図１】

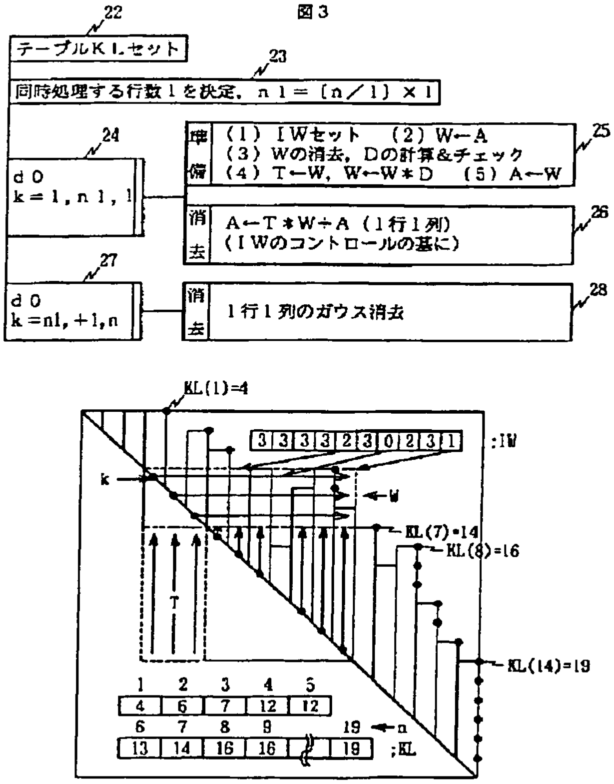


【図２】



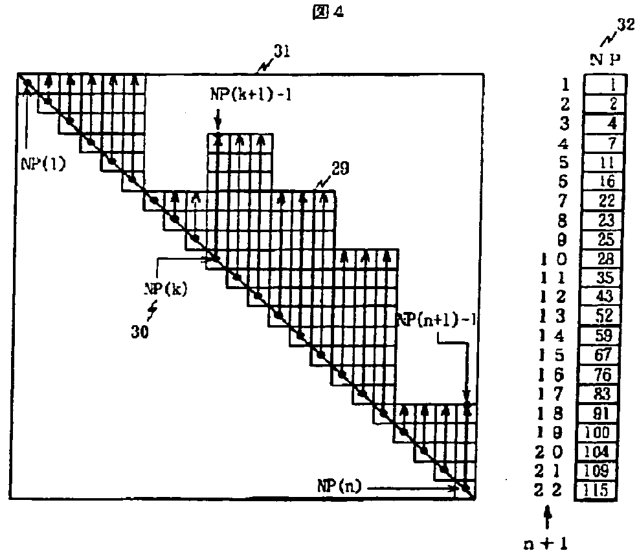
【図3】

図3



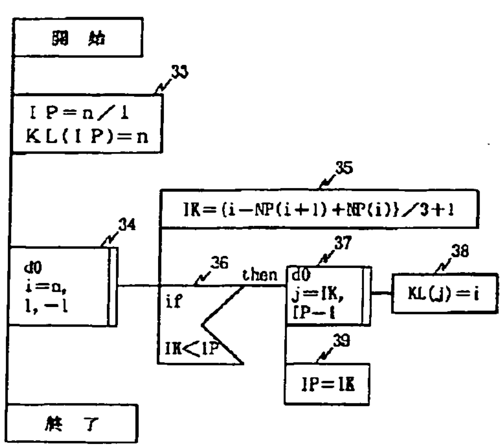
【図4】

図4



【図5】

図5



【図6】

図6